

CARACTERIZACIÓN DE LA TERMORREGULACIÓN EN LA TIROIDES  
MEDIANTE UN ESTÍMULO EN PACIENTES SANOS USANDO TERMOGRAFÍA

Daniel Andrés Vanegas Montoya

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Físico

Directora:

Msc. Jenniffer Bustamante Mejía

Universidad Tecnológica de Pereira

Grupo de Electrofisiología

Facultad de Ingenierías

Ingeniería Física

Pereira

2018

DEDICATORIA: Dedicado a mi madre Gloria Liliana Montoya Castrillón, a mi padre Daniel Emilio Vanegas Betancur y a mi hermana Sara Carolina Vanegas Montoya quienes son mi soporte y me llenan de motivos para seguir avanzando y aprendiendo cada día, también dedicado a Cristhian Montoya y Valentina Rivillas quienes más que compañeros de carrera se han convertido en dos grandes amigos y estuvieron presentes durante toda esta etapa de formación.

AGRADECIMIENTOS: Agradezco a mis profesores, especialmente a la directora de este trabajo de grado Jenniffer Bustamante quien tuvo la paciencia de irme guiando para culminar esta etapa de pregrado a través de esta investigación formativa, también agradezco a todos los compañeros con los que compartí durante la carrera y en especial a aquellos que voluntariamente participaron como sujetos de estudio.

Para finalizar, agradezco al Grupo de Investigación Electrofisiología el cual me facilitó los dispositivos necesarios para la ejecución del proyecto.

# Índice

<b>1. Preliminares</b>	<b>7</b>
1.1. Resumen . . . . .	7
1.2. Introducción . . . . .	8
1.3. Pregunta de Investigación . . . . .	8
1.4. Justificación . . . . .	8
1.5. Objetivos . . . . .	8
1.5.1. Objetivo general . . . . .	8
1.5.2. Objetivos específicos . . . . .	8
<b>2. Marco Teórico y Estado del Arte</b>	<b>9</b>
2.1. La Tiroides . . . . .	9
2.2. La Termografía . . . . .	11
2.2.1. Contextualización . . . . .	11
2.2.2. Principios físicos . . . . .	12
2.2.3. Principales aplicaciones . . . . .	13
2.3. Estudios relacionados . . . . .	14
<b>3. Materiales y Métodos</b>	<b>15</b>
3.1. Materiales . . . . .	15
3.2. Métodos . . . . .	18
3.2.1. Protocolo establecido . . . . .	18
3.2.2. Información recolectada . . . . .	24
<b>4. Resultados y Discusión</b>	<b>32</b>
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>40</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	40
5.2. Recomendaciones y trabajos futuros . . . . .	41
<b>6. Listado de anexos</b>	<b>42</b>
6.1. Anexo 1. Protocolo toma de imágenes termográficas y registro de medidas relacionadas. . . . .	42
6.2. Anexo 2. Algoritmo en Matlab y variables almacenadas. . . . .	42
6.3. Anexo 3. Gráficas obtenidas en Matlab con la regresión de mínimos cuadrados para temperatura promedio y temperatura máxima. . . . .	42
6.4. Anexo 4. Encuestas aplicadas y tabulación en Excel. . . . .	42
<b>Referencias</b>	<b>42</b>

## Índice de figuras

1.	Glándula Tiroides . . . . .	9
2.	Espectro electromagnético, rango visible e infrarrojo . . . . .	12
3.	Procesador Térmico Fluke Ti32 y sus accesorios . . . . .	15
4.	Objetivo gran angular . . . . .	16
5.	Montaje experimental . . . . .	16
6.	Estímulo usado . . . . .	17
7.	Termohigrómetro digital . . . . .	17
8.	Componentes del procesador térmico Fluke Ti32 . . . . .	18
9.	Acoplamiento y extracción de la lente opcional gran angular . . . . .	21
10.	Gel frío colocado como estímulo . . . . .	23
11.	Método para enfriar el gel . . . . .	23
12.	Listado de carpetas de las imágenes de cada sujeto . . . . .	25
13.	Software Smart View 4.3 . . . . .	26
14.	Fichero con valores de temperatura abierto desde Excel . . . . .	27
15.	Fichero valores de temperatura sin encabezado . . . . .	28
16.	Notación asignada a las matrices de valores de temperatura . . . . .	28
17.	Selección manual de 3 puntos en el cuello . . . . .	29
18.	Temperatura promedio y máxima sujeto 1 . . . . .	30
19.	Regresión por mínimos cuadrados T promedio sujeto 1 . . . . .	31
20.	Esquema por bloques del algoritmo . . . . .	32
21.	Distribución de frecuencias por intervalos de $T_{prom}$ y $T_{max}$ . . . . .	39

## Índice de cuadros

1.	Funciones y controles Fluke Ti32 . . . . .	19
3.	Valores de la pendiente Temperatura Promedio y Temperatura Máxima	33
4.	Coeficientes de correlación $R^2$ . . . . .	34
5.	Compacto edad, temperatura y humedad relativa . . . . .	35
6.	Resumen encuestas . . . . .	36
7.	Nivel de peso según el IMC . . . . .	37
9.	Conteo respuestas . . . . .	38

# 1. Preliminares

## 1.1. Resumen

La termografía se ha ido posicionando como una de las mejores técnicas para ser usadas como método de prevención, seguimiento y diagnóstico; lo anterior debido a que es una tecnología rápida, de bajo costo, no-invasiva, no ionizante y en el campo de la salud permite detectar la presencia de patologías desde su etapa inicial de crecimiento. [1].

En este estudio se implementó un protocolo experimental para el estudio de la dinámica térmica en la glándula Tiroides mediante termografía activa; puesto que, dicho órgano a través de la segregación de las hormonas tetraiodotironina o (tiroxina) (T4), triiodotironina (T3) y calcitonina; regula la función de metabolismo en el cuerpo y cualquier patología que altere el nivel adecuado de dichas hormonas puede provocar una variada cantidad de patologías tales como pérdida o ganancia esporádica de peso, pérdida de cabello, piel seca, pulso irregular, nerviosismo, hinchazón u opresión en el cuello, dificultad para respirar, ronquera, estreñimiento, problemas de visión y depresión [2]; razón por lo cual es de suma importancia, poder diagnosticar de manera temprana cualquier enfermedad como hipotiroidismo, hipertiroidismo o los nódulos tiroideos.

Se realizó un estudio sobre 26 sujetos presuntamente sanos, 13 hombres y 13 mujeres, adquiriendo las imágenes termográficas con el procesador térmico Fluke Ti32 y procesando la matriz de temperatura entregada por el software Smart View, en un algoritmo diseñado e implementando en el software Matlab, el cual, luego de un filtrado con una máscara diferente para cada sujeto de estudio según las dimensiones de su cuello, arrojó como resultado el cálculo y almacenamiento automático en un archivo con formato Excel de los valores de temperatura promedio y temperatura máxima en la región de interés; junto con el cálculo de los parámetros necesarios para graficar las líneas de tendencia, realizado a través de una regresión por mínimos cuadrados para los datos de temperatura promedio y para los de temperatura máxima.

Los valores mínimo y máximo obtenidos de la pendiente de Temperatura Promedio ( $T_{prom}$ ) fueron de 0,171290974 y 0,53464993 respectivamente, con un rango de 0,36; mientras que para la pendiente de Temperatura Máxima ( $T_{max}$ ) los valores mínimo y máximo fueron 0,030363636 y 0,399363636 respectivamente; con un rango de 0,37; además los coeficientes de correlación  $R^2$  promedio obtenidos fueron de 0,8999 y 0,8905. para la temperatura promedio y la temperatura máxima respectivamente.

Se pudo deducir con base en el análisis de los datos y gráficos obtenidos que las mujeres presentan un proceso de termorregulación más rápido que los hombres en la zona del cuello, el nivel de peso según el índice de masa corporal IMC no influye en el proceso de termorregulación y los sujetos que tienen diagnosticada una enfermedad de tiroides exhiben un proceso de termorregulación más lento en comparación con la población presuntamente sana.

## **1.2. Introducción**

La Tiroides es una glándula con forma de mariposa localizada en la base del cuello con un tamaño aproximado de 5,1 centímetros; la cual controla la rapidez con la que el cuerpo quema energía, produce proteínas y su sensibilidad para recibir otras hormonas; por ende, es de suma importancia detectar cualquier enfermedad asociada a su funcionamiento en el menor tiempo posible [3].

La termografía, es una técnica que permite en tiempo real de manera no invasiva y sin contacto detectar la temperatura de la piel en el cuerpo, además, es una técnica rápida, confiable, de bajo costo y absolutamente segura para los pacientes y personal [4]; Por lo anterior en este trabajo se estudió el proceso de termorregulación de la zona del cuello donde se ubica internamente la Tiroides usando termografía activa, puesto que, como método de diagnóstico permite detectar la presencia de patologías desde su etapa inicial de crecimiento [1].

## **1.3. Pregunta de Investigación**

¿Es posible determinar mediante termografía activa cuál es el rango de temperatura durante el proceso de termorregulación de la Tiroides en pacientes sanos?

## **1.4. Justificación**

La asociación entre temperatura y enfermedades es casi tan antigua como la medicina misma, la termografía infrarroja es una técnica que ha sido usada exitosamente en el diagnóstico de cáncer de mama, diabetes, neuropatía y trastornos vasculares periféricos. También se ha utilizado para detectar problemas asociados con ginecología, trasplante de riñón, dermatología, corazón, fisiología neonatal, detección de fiebre e imágenes del cerebro. [5, 6]

En la glándula tiroides es el centro del aumento del flujo sanguíneo, por lo tanto, es el centro de producción de calor que puede ser detectado por la cámara térmica. [7]

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Implementar un protocolo experimental para el estudio de la dinámica térmica en la glándula Tiroides mediante termografía activa.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Estandarizar un protocolo de adquisición de las imágenes termográficas de la Tiroides en pacientes sanos.
- Diseñar un algoritmo para el filtrado y procesamiento de las imágenes adquiridas.



- Agrupar y analizar los datos obtenidos para determinar si existe un patrón de termorregulación en pacientes sanos.

## 2. Marco Teórico y Estado del Arte

### 2.1. La Tiroides

El término tiroides deriva de la descripción griega de una glándula con forma de escudo situada en la parte anterior del cuello («thyreoïdes»). Las descripciones anatómicas clásicas de esta glándula se efectuaron en los siglos XVI y XVII, pero su función se desconocía. [8].

La glándula tiroidea es uno de los órganos endocrinos de mayor tamaño, en un adulto sano pesa entre 10 y 20 g, se compone de dos lóbulos unidos por una delgada tira de tejido o istmo, que presenta aproximadamente 0,5 cm de grosor, 2 cm de ancho y 1 a 2 cm de alto. En condiciones normales, cada lóbulo tiene un polo superior agudo y un polo inferior romo y poco definido, que se funde en sentido medial con el istmo. Cada lóbulo tiene entre 2 y 2,5 cm de grosor y anchura en el punto de máximo diámetro, y una longitud aproximada de 4 cm. [9]

La tiroides es responsable de la producción de tres hormonas metabólicas: tetraiodotironina o (tiroxina) (T4), triiodotironina (T3) y calcitonina; siendo el yodo esencial para su producción; la glándula tiroidea almacena el 90 % de todo el yoduro corporal, el cual se guarda como hormona tiroidea preformada o bien como un aminoácido yodado. Por lo anterior, la ingestión de yodo está asociada con las enfermedades tiroideas, la carencia de yodo puede provocar bocio nodular, hipotiroidismo, cretinismo y posiblemente la aparición de carcinoma folicular de tiroides (CFT); por otra parte, cuando hay un exceso de yodo, aparecen trastornos como la enfermedad de Graves o la tiroiditis de Hashimoto. [8]

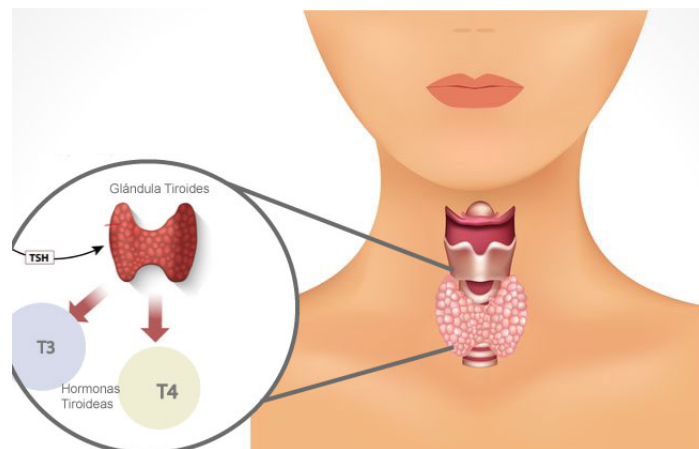


Figura 1: Glándula Tiroides

La estructura de la tiroides se compone de numerosos folículos compuestos por tiroglobulina, una glucoproteína yodada que sirve como sustrato para la síntesis de las hormonas tiroideas, la producción normal de éstas hormonas depende de la cantidad de yodo proveniente del exterior, el cual se consume a través de los productos lácteos, los huevos, la sal de mesa yodada, el pescado de aguas saladas, el marisco, los productos de la soja y las preparaciones multivitamínicas. [8, 10].

La regulación de la función tiroidea está controlada por el hipotálamo, la glándula pituitaria o hipófisis y la glándula tiroides; El hipotálamo secreta la hormona liberadora de tirotropina (TRH), esta a su vez, atraviesa el tallo hipofisario y promueve la liberación de la hormona estimulante de tirotropina (TSH) de la pituitaria anterior. La TSH se une a receptores específicos en la membrana celular tiroidea y mejora todos los procesos de síntesis y secreción de T4 y T3. Una disminución en la TSH causa una reducción en la síntesis y secreción de T4 y T3, por el contrario, un aumento en la TSH produce un incremento en la producción y liberación de hormonas. [10]

Las principales enfermedades asociadas a la tiroides son:

- Hipertiroidismo
- Hipotiroidismo
- Bocio

El Hipertiroidismo, se refiere al hiperfuncionamiento de la glándula tiroides, con secreción excesiva de hormonas tiroideas activas. La mayoría de los casos de hipertiroidismo se deben a uno de tres procesos patológicos: enfermedad de Graves, bocio multinodular tóxico o adenoma tóxico. Independientemente de la causa, los signos y síntomas del hipertiroidismo son los de un estado hipermetabólico. El paciente está ansioso, inquieto, puede ser emocionalmente inestable, su piel es cálida y húmeda, la cara se enrojece, el cabello es delgado y las uñas son suaves y frágiles. [10]

El Hipotiroidismo, se produce por la poca actividad de la hormona tiroidea, es una enfermedad que afecta entre el 0,5 % y el 0,8 % de la población adulta, el hipotiroidismo primario se refleja en una disminución de la producción de hormonas tiroideas a pesar de niveles adecuados o elevados de TSH y representa el 95% de todos los casos de hipotiroidismo; El segundo tipo más común de hipotiroidismo es de origen idiopático y probablemente autoinmune, con autoanticuerpos que bloquean los receptores de TSH en la tiroides. La última causa asociada se denomina tiroiditis de Hashimoto, el cual es un trastorno autoinmune que se caracteriza por el agrandamiento del bocio, que generalmente afecta a las mujeres de mediana edad. [10]

El Bocio, es una inflamación de la glándula tiroides que resulta del crecimiento anormal y excesivo del tamaño de las células de dicho órgano, además del crecimiento desmesurado de las células anormales del tejido que recubre la superficie de los folículos tiroideos lo que deriva en una reducción en la producción de hormona tiroidea. El tamaño del bocio está determinado por el nivel y la duración de la insuficiencia hormonal.

En la mayoría de los casos, un bocio está asociado con un estado eutiroides, con el aumento de la masa y la actividad celular que eventualmente superan el deterioro en la síntesis de hormonas. La cirugía sólo es recomendada si la terapia médica es inefectiva y el bocio está comprometiendo la vía aérea o es estéticamente inaceptable, debido a que la tasa de morbilidad en cirugías de Tiroides es del 13 %. [10]

## **2.2. La Termografía**

### **2.2.1. Contextualización**

Desde la época de Hipócrates, los médicos han reconocido la importancia de una temperatura elevada. Durante siglos, esto siguió siendo una habilidad subjetiva, y el concepto de medir la temperatura no se desarrolló hasta el siglo XVI. Galileo hizo su famoso termoscopio con un tubo de vidrio, que funcionaba como un termómetro sin sellar por lo cual se veía afectado por la presión atmosférica. En términos modernos, ahora describimos la transferencia de calor por tres modos principales. La primera es la conducción, que requiere contacto entre el objeto y el sensor. El segundo modo de transferencia de calor es la convección y la tercera radiación. Los dos últimos habían conducido a métodos de detección remota. [5]

El concepto de radiación infrarroja fue establecido por Sir. William Herschel en el año 1800, a través de un famoso experimento, de utilizar un prisma para descomponer la luz proveniente del sol en los diferentes franjas o colores que la componen y posteriormente medir la temperatura en cada una de esas regiones, encontrando que existía un “calor” más allá del espectro visible, adicional a ello, logró con otros experimentos demostrar que dicho “calor”, se comportaba como luz porque podía reflejarse y refractarse en las condiciones adecuadas; posteriormente su hijo John Herschel hizo una imagen con éxito usando radiación solar, a la cual le denominó “termograma”, dicho término se utiliza actualmente para describir las imágenes realizadas con radiación térmica. [5]

El primer detector de infrarrojo moderno se desarrolló originalmente para aplicaciones militares, alrededor de la Segunda Guerra Mundial. Pero más tarde, la tecnología se lanzó para uso civil y, posteriormente, se usó termografía infrarroja (IRT por sus siglas en inglés, Infrared Thermography) en ciencias médicas y en el campo de las pruebas no destructivas (NDT por sus siglas en inglés, Non Destructive Testing). [6]

Las primeras imágenes médicas tomadas con un sistema de prototipo británico, el ‘Pyroscan’, se realizaron en el Hospital Middlesex en Londres y en el Hospital Nacional Real para Enfermedades Reumáticas de Bath en 1959–1961. Para los estándares modernos, estos termogramas eran muy básicos. Una marca de 2 Pyroscan fue hecha para uso médico en 1962, con imágenes mejoradas; sin embargo, el escaneo mecánico fue lento y cada imagen necesitó de 2 a 5 minutos para grabar, la imagen final fue escrita línea por línea en papel electro-sensible.[5].

A partir de la década de 1970, comenzaron a estar disponibles sistemas portátiles más pequeños; estos consistían en sistemas de escaneo de detectores de fotones individuales enfriados con nitrógeno líquido. Estos sistemas también permitieron el uso de

imágenes infrarrojas para aplicaciones comerciales e industriales. El enorme progreso debido a las tecnologías de microistemas hacia finales del siglo XX: las primeras cámaras de micro bolómetro sin refrigeración aparecidas en la década de 1990 dieron como resultado la medición cuantitativa confiable de los sistemas de cámaras infrarrojas. Aproximadamente en el año 2000. Las imágenes térmicas infrarrojas ahora se han vuelto asequibles para un público más amplio de físicos, técnicos e ingenieros especializados para una gama cada vez mayor de aplicaciones. Hoy en día, la producción en masa de conjuntos de detectores infrarrojos conduce a cámaras de precios comparativamente bajos que, según algunos anuncios, pueden convertirse en productos de consumo de alta gama para todos. [11]

### 2.2.2. Principios físicos

La radiación infrarroja es descrita como ondas electromagnéticas emitidas en la región del espectro electromagnético adyacente al de la luz visible (por debajo del rojo), en general, todos los objetos con temperatura superior al cero absoluto, es decir  $T > 0\text{ K} (-273, 15^\circ\text{C})$ , emiten radiación electromagnética, la cual se conoce como radiación infrarroja o radiación térmica. Estas ondas se ubican en un amplio rango de longitudes de onda que van desde los  $0,5\text{ }\mu\text{m}$  hasta  $1000\text{ }\mu\text{m}$ ; pero se puede subdividir en tres regiones espectrales, el infrarrojo cercano de  $0,6\text{ }\mu\text{m}$  a  $1,5\text{ }\mu\text{m}$ , infrarrojo medio  $1,5\text{ }\mu\text{m}$  a  $5,6\text{ }\mu\text{m}$  e infrarrojo lejano  $5,6\text{ }\mu\text{m}$  a  $1000\text{ }\mu\text{m}$ . [6].

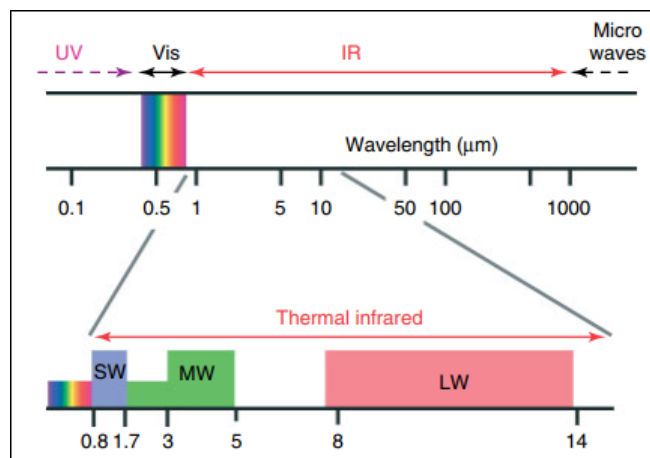


Figura 2: Espectro electromagnético, rango visible e infrarrojo

Según la teoría de la radiación térmica, el cuerpo negro se considera un objeto hipotético que absorbe toda la radiación incidente e irradia un espectro continuo de acuerdo con la ley de Planck:

$$E(\lambda, T) = \frac{8\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (1)$$

Donde  $h = 6,626 * 10^{-34} Js$ , es la constante de Planck;  $c = 2,998 * 10^8 \frac{m}{s}$ , es la velocidad de la luz en el vacío,  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación y  $T$  es la temperatura absoluta del cuerpo negro dada en Kelvin.[11]

Integrando la ley de Plack para todas las frecuencias, se obtiene la ley de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma T^4 \quad (2)$$

Donde  $E$  es la potencia total de emisión en  $\frac{W}{m^2}$ ,  $\sigma = 5,676 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$  es la constante de Stefan-Boltzmann y  $T$  es la temperatura absoluta en Kelvin.

De la ecuación 1 se puede encontrar el máximo de la longitud de onda a través del criterio de la primera derivada  $\frac{\partial E(\lambda, T)}{\partial \lambda} = 0$ , siguiendo ese procedimiento se obtiene la Ley de desplazamiento de Wien [11]

$$\lambda_{max} = 2897,8 \mu m * K \quad (3)$$

Para objetos reales la ley de Stefan-Boltzman (2), debe ser modificada de la siguiente forma

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

Donde  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie a una longitud de onda fija y temperatura absoluta  $T$ . Para una emisividad perfecta del cuerpo negro es la unidad, pero para los materiales reales, la emisividad siempre es menor que la unidad. El fisiólogo estadounidense J. Hardy demostró que la piel humana, independientemente del color, es un radiador altamente eficiente con una emisividad cercana a la de un cuerpo negro perfecto:  $\varepsilon = 0,98$  [5, 6].

### 2.2.3. Principales aplicaciones

La termografía infrarroja, se ha convertido en una herramienta de monitoreo ampliamente aceptada en la que la temperatura se mide en tiempo real y sin contacto, pudiendo realizar seguimiento a diferentes objetos tales como estructuras civiles, instalaciones eléctricas, maquinarias y equipos, deformación de materiales bajo diversas condiciones de carga, daños por corrosión, procesos de soldadura, nuclear, aeroespacial, alimentos, papel, madera, plásticos, paneles fotovoltaicos, entre otras aplicaciones. [12]

Pero para los intereses de este documento se hará énfasis en las aplicaciones médicas, campo en el cual desde 1963 se demostró que los termogramas pueden proporcionar información de anomalías físicas y, por lo tanto, ser útiles para el diagnóstico de enfermedades físicas. [6]

La IRT se ha utilizado ampliamente para la neuropatía diabética, trastorno vascular, detección de cáncer de mama, estudio de termorregulación, tamizaje de la fiebre, imágenes del cerebro (termoencefaloscopia), odontología y dermatología, estudio de síndrome de dolor muscular y hombro, diagnóstico de enfermedades reumatológicas, diagnóstico de síndrome del ojo seco, tratamiento de enfermedad hepática parasitaria, detección de enfermedad hepática metastásica, isquemia intestinal, trasplante renal, tratamiento cardíaco, ginecología, en el tratamiento de acupuntura, crioterapia, medicina forense y evaluación del daño por radiación al cuerpo humano. [6]

### 2.3. Estudios relacionados

En 2008 se diseñó un prototipo basado en computadora para detectar y mostrar las variaciones relativas de la temperatura de la piel presentes en pacientes con trastornos de la tiroides, de una forma económica y no invasiva; dicho dispositivo detectaba los nódulos hiperactivos debido a que éstos se convierten en un centro de mayor flujo sanguíneo y actividad química generando una cantidad detectable de radiación térmica. Se realizó un software en Visual Basic para detectar la distribución de temperatura alrededor del punto caliente y además disminuir el ruido térmico; Adicionalmente se desarrolló el método de elementos finitos con el cual se determinó que la resolución adecuada es de  $0,1^{\circ}C$ , para obtener las imágenes de los cuellos de los pacientes; donde finalmente fue comparado como método de diagnóstico con la técnica Yodo-Escaneo y se obtuvieron resultados acordes con dicha técnica. [13]

En el año 2012 en el Hospital Universitario de Lagos de Nigeria se estudiaron 37 pacientes confirmados con enfermedades de la tiroides y 16 voluntarios como control con termografía como técnica de diagnóstico alternativa, encontrando que existen valores promedio de temperatura diferentes entre las personas con hipertiroidismo ( $36,63 \pm 0,56^{\circ}C$ ), hipotiroidismo ( $34.93 \pm 0.32^{\circ}C$ ) y para el grupo de control ( $35.76 \pm 0.49^{\circ}C$ ), con lo cual se muestra que la termografía podría desempeñar un papel vital en el diagnóstico de las enfermedades de la tiroides. [4]

Un estudio en 2014 se basó en los dos trabajos anteriores, utilizando los valores obtenidos de temperatura promedio, para los tres diferentes grupos (hipertiroidismo, hipotiroidismo y control) del [4]; con el objetivo de comparar 44 imágenes del cuello tanto de personas con desordenes de tiroides, como personas normales; las cuales fueron procesadas previamente realizándoles una ecualización, filtrándolas con un filtro de tipo mediana y segmentando la zona de interés en cada una a través de umbralización con el objetivo final de clasificarlas en el rango hiperactivo, hipoactivo o normal, usando clasificador de tipo Bayesiano. El resultado obtenido fue una precisión de 81,81 %, por lo cual, concluyeron que la termografía podría ser la mejor técnica para detectar la enfermedad de la glándula tiroides, ya que es un método simple, no invasivo y sin contacto para cartografiar las temperaturas de la piel del cuerpo.[14]

En otro estudio en 2017 se tomaron imágenes térmicas de 63 sujetos, de los cuales 26 tenían problemas de tiroides y los 37 restantes tomados como grupo de control; las imágenes fueron procesadas con Matlab, realizando primero un redimensionamiento de

las imágenes, luego se le aplicaron operaciones morfológicas junto con un estiramiento del contraste y una ecualización del histograma, posteriormente se aplicaron, algunas técnicas de segmentación de imágenes, se extrajo las características de la región de interés y finalmente se hizo la clasificación utilizando el clasificador de Redes Neuronales Artificiales (ANN, por sus siglas en inglés, Artificial Neural Networks). El clasificador proporcionó una precisión del 98,4 %, una sensibilidad del 100 % y una especificidad del 96,3 %. Por lo tanto, la termografía con la ayuda del procesamiento de imágenes se puede utilizar como herramienta de detección para el diagnóstico temprano del trastorno de la tiroides.[7]

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Materiales

La principal herramienta utilizada en el estudio fue el procesador térmico o también llamado cámara termográfica Fluke Ti32



(a) Procesador térmico Fluke Ti32



(b) Accesorios Procesador Térmico

Figura 3: Procesador Térmico Fluke Ti32 y sus accesorios

Sus principales especificaciones son:

- Temperatura de funcionamiento:  $-10^{\circ}C$  a  $50^{\circ}C$
- Rango de Medición:  $-20^{\circ}C$  a  $600^{\circ}C$
- Humedad relativa: 10 % al 95 % sin condensación.
- Exactitud:  $\pm 2^{\circ}C$  o 2 %, lo que sea mayor (a  $25^{\circ}C$  nominal)

- Tipo de detector: matriz de plano focal (FPA), microbolómetro no refrigerado: 320x240 píxeles.
- Distancia mínima de enfoque lente infrarrojo: 15 *cm*
- Distancia mínima de enfoque lente **gran angular**: 7,5 *cm*

Todas las especificaciones, incluyendo las mencionadas, se pueden encontrar en el manual de uso [15].

La cámara fue usada con un lente adicional denominado **objetivo gran angular** para obtener un mayor campo de visión en espacios reducidos.



Figura 4: Objetivo gran angular

Con el propósito de obtener la mayor estabilidad y firmeza posible la cámara fue colocada sobre un **trípode** cuya altura se puede ajustar según lo requerido, como se observa en la imagen 5



Figura 5: Montaje experimental



El estímulo usado fue un producto fabricado en viniglass calibre 10, totalmente flexible, resistente y contiene un **gel no congelante color azul** que mantiene el calor o el frío; el cual se puede observar en la figura 6 y es producido por la empresa Kamex International S.A.S



Figura 6: Estímulo usado

Otro dispositivo usado durante todas las sesiones de adquisición de datos fue un **termohigrómetro digital**, el cual permitió hacer registro de la temperatura y humedad relativa del lugar, se puede observar en la figura 7



Figura 7: Termohigrómetro digital

Como es un estudio piloto se estableció una muestra de 26 personas (**13 hombres, 13 mujeres**), en su mayoría estudiantes de Ingeniería física, no obstante, incluyendo algunos egresados del programa; los cuales eran presuntamente sanos respecto a enfermedades diagnosticadas de tiroides, en un rango de edad de los 18 a los 31 años, quienes luego individualmente se les aplicó el protocolo experimental diseñado y descrito en la subsección 3.2

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Protocolo establecido

El objetivo de establecer un protocolo es garantizar la reproducibilidad del estudio y la confiabilidad de las imágenes obtenidas, por ende, en esta subsección se describe de manera resumida el protocolo diseñado que se adjunta en el anexo descrito en la subsección 6.1, además de indicar la forma en la cual se almacenó, procesó y organizó la información recolectada.

Se planeaban citas con duración de una hora con cada uno de los sujetos de estudio voluntarios, a dicha jornada de adquisición se procuraba llegar con 10 minutos de anterioridad a la persona que estaba citada, para organizar el área de trabajo y verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos.

Inicialmente se saca la cámara observada en la figura 3a de la caja amarilla que se ve en la figura 3b y posteriormente del estuche grande negro que se encuentra también en la imagen 3b, los demás elementos incluidos en el estuche negro serán explicados posteriormente al igual que las funciones y controles del procesador térmico, que se observan en la siguiente imagen (8)

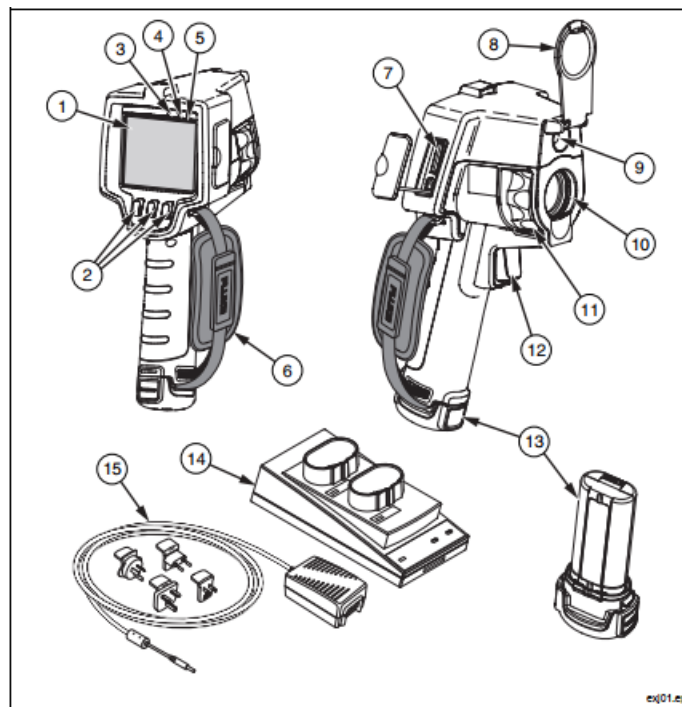


Figura 8: Componentes del procesador térmico Fluke Ti32

Elemento	Descripción
1	Pantalla de cristal líquido (LCD)
2	Teclas programables de función (F1, F2, F3)
3	Altavoz
4	Micrófono
5	Sensor de luz de fondo automática
6	Correa para la mano
7	Compartimento del enchufe de alimentación de CA y la tarjeta de memoria SD
8	Cubierta retráctil para la lente
9	Cámara visual (luz visible)
10	Lente infrarroja
11	Aro de control de enfoque
12	Disparador de captura de imágenes
13	Paquete de batería de ión de litio inteligente extraíble (2)
14	Base de carga de dos bahías
15	Adaptador de CA y fuente de alimentación

Cuadro 1: Funciones y controles Fluke Ti32

Después que se ha sacado la cámara se debe verificar que alguna de las dos baterías de Litio esté cargada, de lo contrario, se deben colocar a cargar usando los elementos 14 y 15 del cuadro 1; Luego de realizar esa validación se debe insertar alguna de las dos baterías de ion de litio previamente cargada (elemento 13 del cuadro 1) como se muestra en la figura 8 y la batería restante se puede colocar a cargar sólo si es necesario mientras se usa la otra.

Con la batería de Litio cargada y puesta en la cámara se puede usar la tecla F2 que está indicada como elemento 2 dentro de la figura 8, para encender el procesador térmico presionándola durante 2 segundos; seguidamente de que esté encendido, mostrará en la pantalla de cristal líquido la información de la misma, luego, transcurridos 3 segundos la cámara borrará la pantalla informativa y mostrará en tiempo real la imagen térmica de los objetos que tenga enfocados. [15]

Con las teclas programables F1, F2 y F3 que se encuentran en el elemento 2 de la figura 8, se puede acceder a todos los menús que tiene disponible el procesador térmico, tales como, opciones de almacenamiento y visualización de las imágenes; funciones de configuración: como luz de fondo, fecha/hora, emisividad, 19 formatos de archivo, idioma, paleta, selección de la lente, compensación de temperatura reflejada de fondo y corrección de transmisión. [15]

En este estudio los valores que se configuraban cada vez que se iniciaba un nuevo día de adquisición de imágenes son: fecha, hora, selección de lente, emisividad, paleta de colores, idioma y unidades de temperatura. Todos los parámetros mencionados se

cambian a través de un proceso similar, se pulsa la tecla programable F2 para que aparezca una etiqueta arriba de cada tecla programable (F1, F2 y F3), al pulsar cualquiera de las teclas programables se accede a la respectiva etiqueta que tiene en ese momento encima. [15].

Para cambiar por ejemplo las unidades de temperatura, se pulsa la tecla F2 hasta que la etiqueta de F3 diga “**valores**” y se pulsa F3, seguidamente, se vuelve a apretar F2 las veces que sea necesario hasta que en el rótulo de F3 diga “**unidades**” y se presiona F3, posteriormente se presiona la tecla F3 hasta encontrar la escala de Celsius y seleccionarla con la tecla programable correspondiente; cabe tener en cuenta que, si se pulsa F2 varias veces, se pasará cíclicamente a través de los menús, no obstante, la opción de menú desaparecerá automáticamente pasados unos segundos tras la última pulsación de ninguna tecla programable y se volverá a mostrar la vista en directo del procesador térmico. [15]

Para este estudio fue necesario en cada adquisición de imágenes utilizar la lente opcional **gran angular** en el procesador térmico, para lo cual se debe ejecutar las siguientes instrucciones:

1. Con la cámara apagada, inserte la tarjeta de memoria SD con los códigos del firmware de la lente opcional en la ranura de tarjeta de memoria SD que está ubicada en la parte lateral de la cámara, observando la figura 8, se encuentra el punto 7.
2. Pulse la tecla F2 unos segundos para encender la cámara.
3. Siga las instrucciones que aparecen en la pantalla LCD para instalar los archivos correspondientes en la memoria interna del procesador térmico.
4. Una vez realizada la instalación, saque la tarjeta de memoria SD con los archivos del firmware y vuelva a insertar la tarjeta de memoria SD utilizada para el almacenamiento de imágenes.
5. Acople la lente opcional en el procesador térmico alineando el punto de la lente con el punto del procesador térmico; consulte la figura 9.
6. Empuje con suavidad la lente opcional hasta colocarla en su posición y gírela en el sentido de las agujas del reloj hasta que se fije en la posición adecuada.
7. **Importante:** El modo IR-Fusión esta deshabilitado cuando se ajusta el procesador de imágenes térmico con la elección de lente de gran angular. [15]

**Nota:** Sólo es requerido realizar la instalación una vez, en caso de haberla realizado se puede empezar desde la recomendación 5.

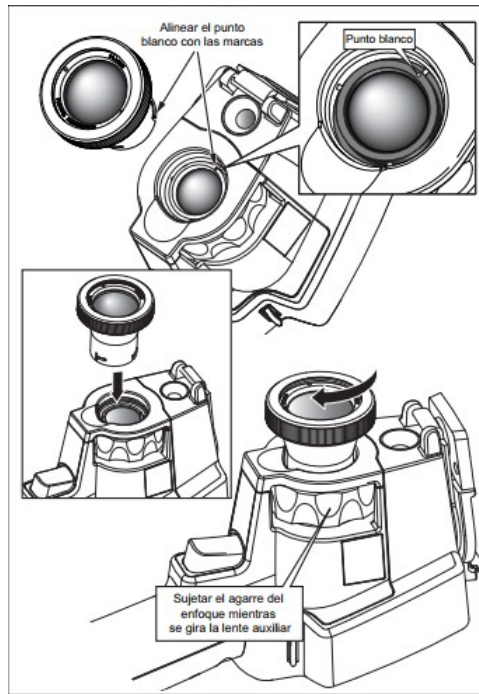


Figura 9: Acoplamiento y extracción de la lente opcional gran angular

Esta lente se usa para delimitar el área que enfoca la cámara, de tal modo que se adquieran datos en lo posible sólo de la región de interés de estudio, la cual en este caso es la base del cuello, donde internamente está localizada la Tiroides y así evitar posibles artefactos en la imagen que se puedan producir por la diferencia de temperatura entre el cuello y los objetos del medio.

Antes de iniciar la captura de las imágenes, es necesario cambiar la selección de la lente en uso en el procesador térmico, siguiendo estos pasos:

- Pulse F2 las veces que sea necesario hasta que la etiqueta de la tecla programable F3 indique **Valores**.
- Pulse la tecla programable rotulada **Valores**.
- En el menú de ajustes, pulse F2, la opción rotulada **Menú**, hasta que la tecla programable F3 indique **Lente**.
- Pulse la tecla programable rotulada Lente.
- Pulse la tecla programable rotulada **Arriba** (F1) o **Abajo** (F3) para seleccionar la lente.
- Pulse la tecla programable rotulada **Terminado** cuando haya finalizado.

- Siga con el resto de elementos configurables del menú de ajustes o pulse y suelte rápidamente dos veces el disparador para volver a la vista en directo. [15]

Si ha configurado la visualización de la información del procesador térmico como **Mostrar todo**, aparece en la parte inferior de la pantalla LCD un símbolo **W** con la selección de la lente de **gran angular** y se muestra un símbolo **T** cuando se elige la lente de **teleobjetivo**. La opción predeterminada es la lente estándar y esta opción no tiene ningún símbolo indicador. [15]

**Precaución:** Si no se selecciona la lente apropiada en el procesador térmico, los valores de medición de temperatura podrían ser inexactos. [15]

Luego de tener configurada la cámara junto con el **objetivo gran angular** puesto se utiliza el **trípode** para obtener el montaje experimental que se muestra en la figura 5, en el cual el sujeto de estudio va a estar sentado en la silla que observa en la imagen y se debe garantizar que la altura de la cámara, la cual se puede variar con facilidad haciendo uso de los mecanismos que trae el **trípode** quede enfocando el cuello desde la base hasta debajo del mentón.

Antes de iniciar la adquisición se espera que el sujeto llegue, repose 10 minutos durante los cuales el cuerpo se acostumbra a las condiciones ambiente del laboratorio de Electrofisiología que fue el sitio escogido para todas las mediciones y mientras transcurre ese lapso, se aplicó una encuesta diseñada registrando la información relevante que según [2] puede estar asociada a patologías de la Tiroides, incluyendo también los datos personales del sujeto de estudio y además el registro de la temperatura y la humedad relativa en ese momento.

El sujeto debe estar sentado, con una ropa que no tape la zona del cuello, con la mirada puesta hacia al frente y un leve movimiento del mentón hacia arriba, en ese momento se tomará una imagen para tener soporte de las condiciones iniciales, dado que para el estímulo, se le coloca un gel frío que rodea en forma de collar durante 5 minutos (figura 10) y posteriormente estudiar la dinámica térmica a través de la adquisición de imágenes cada 30 segundos durante 5 minutos, tiempo durante el cual la persona debe permanecer lo más quieta posible para evitar que las imágenes tomadas tengan posiciones diferentes.



Figura 10: Gel frío colocado como estímulo

El método usado para enfriar el gel fue transportarlo en un recipiente con aislante térmico para conservar el frío, el cual se llenaba de hielo de tal modo que el gel frío quedara rodeado y ejerciendo el mayor contacto posible con este elemento, en la figura 11 se muestra un ejemplo de dicha configuración para transportar y enfriar el gel.



Figura 11: Método para enfriar el gel

Para la toma de las imágenes la cámara debe tener puesto el lente de tipo **gran angular** y estar situada a una distancia de 20 *cm* del cuello; la cámara se debe dejar fija sobre el trípode a la altura del cuello e ir adquiriendo las imágenes con la precaución de no mover el procesador térmico.

### 3.2.2. Información recolectada

Aplicando el protocolo descrito resumidamente en el inciso 3.2.1, para cada uno de los 26 sujetos de estudio se adquirieron las respectivas imágenes de la dinámica térmica en la zona del cuello luego de retirado el gel frío; junto con la respectiva encuesta de identificación y las respuestas a las preguntas asociadas con síntomas o patologías causadas por desórdenes de tiroides.

Para extraer las imágenes de la cámara es necesario apagar el procesador térmico pulsando durante dos segundos la tecla F2, posteriormente abrir la cubierta que protege la ranura donde se encuentra la memoria SD para extraer dicha tarjeta; esta ranura se encuentra ubicada en el punto 7 de la imagen 8, y para mayor comodidad se usa el adaptador que trae dentro los accesorios (parte izquierda, objeto negro inmediatamente encima del manual, figura 3b) el cual permite hacer la conexión con la tarjeta SD a un puerto USB de computador y posteriormente administrar con facilidad los archivos, sea para moverlos, copiarlos, borrarlos, renombrarlos, etc.

En este estudio se hizo una copia de las imágenes para cada sujeto y fueron almacenadas en carpetas individuales, donde el nombre asignado inicia con un número que indica el número de encuesta según el orden cronológico en que fue aplicada, y un nombre o apellido por el cual se distinga con mayor facilidad, como se muestra en la figura 12





























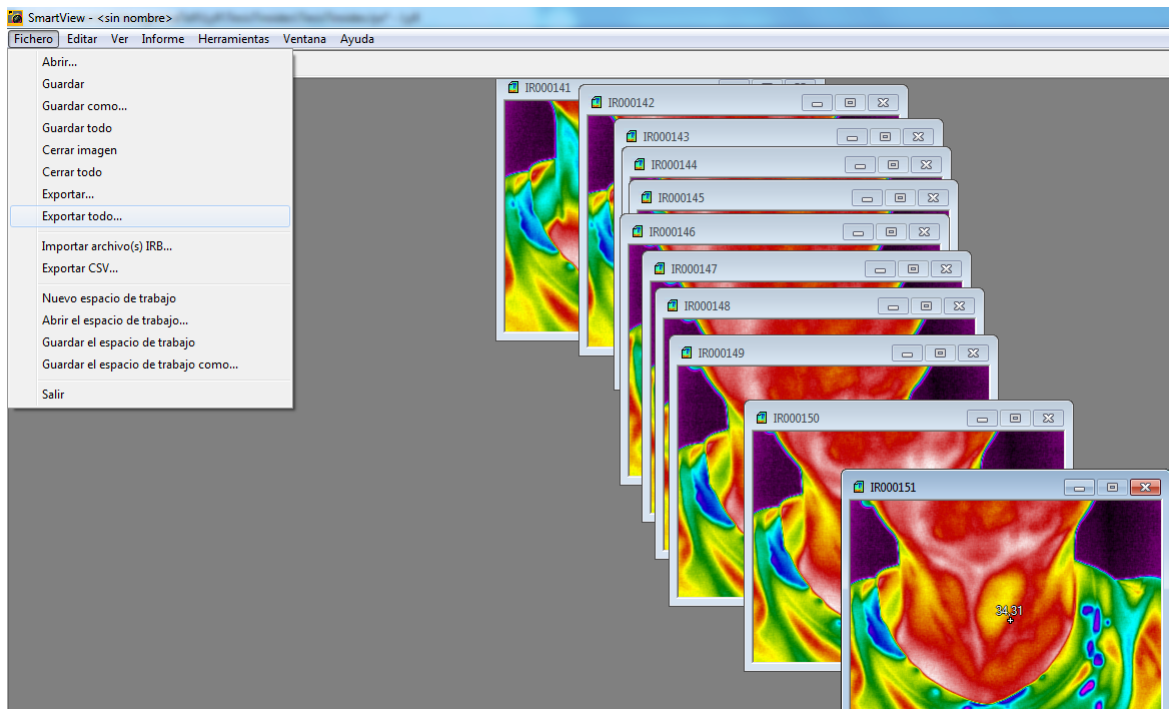
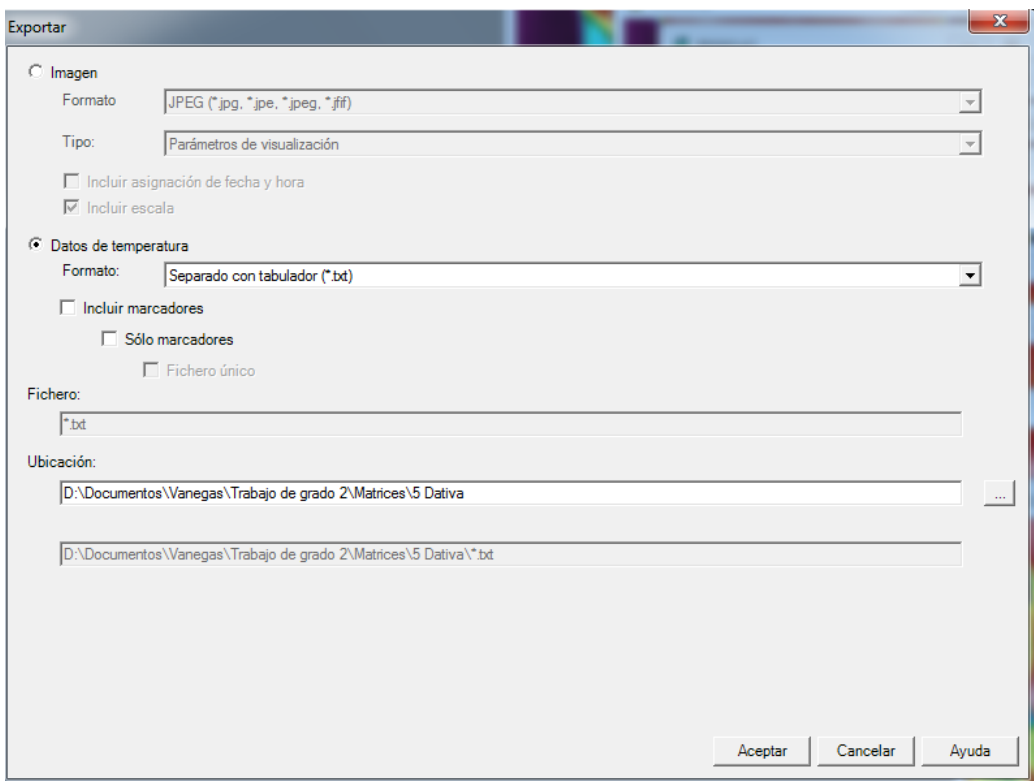
Nombre
 1 sujeto x
 2 Sujeto x
 3 sujeto x
 4 sujeto x
 5 sujeto x
 6 sujeto x
 7 sujeto x
 8 sujeto x
 9 sujeto x
 10 sujeto x
 11 sujeto x
 12 sujeto x
 13 sujeto x
 14 sujeto x
 15 sujeto x
 16 sujeto x
 17 sujeto x
 18 sujeto x
 19 sujeto x
 20 sujeto x
 21 sujeto x
 22 sujeto x
 23 sujeto x
 24 sujeto x
 25 sujeto x
 26 sujeto x

Figura 12: Listado de carpetas de las imágenes de cada sujeto

Para cada sujeto se cogieron todas las imágenes y se abrieron en grupo usando el software Smart View 4.3 de la Corporación Fluke, dado que las imágenes obtenidas tienen una extensión .IS2 que abren con dicho software y posteriormente usar una función que trae este programa llamada “**exportar todo**”, a la cual se accede por la barra de herramientas haciendo clic en la pestaña **fichero** y luego clic en **exportar todo**, como se muestra en la figura 13a



(a) Función exportar todo



(b) Menú de la función exportar todo

Figura 13: Software Smart View 4.3

El menú de esta función como se observa en la figura 13b permite exportar las imágenes en **pseudo color** en diferentes formatos como .gif, .jpeg, mapa de bits, .png y .tiff ; pero esta opción fue omitida y sólo se exportaron los **datos de temperatura** que es la siguiente opción que se ve marcada en la imagen 13b y abajo permite seleccionar la ubicación donde se desea guardar el archivo exportado.

La función entrega un fichero, que se puede abrir con el bloc de notas el cual contiene un encabezado con el directorio donde fue radicado, además de la enumeración de las filas y columnas del tamaño de la imagen, en este caso es de 240x320, pero en este documento se recomienda abrir dicho fichero no con el bloc de notas sino utilizando el Microsoft Excel, con la opción de clic derecho, abrir con y elegir el programa Microsoft Excel, como se observa en la figura 14

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Todas las temperaturas en °C.										
2											
3	D:\Documentos\Vanegas\Trabajo de grado 2\Matrices\1 Gil\IR000141.IS2										
4											
5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1	26,13	26,13	26,18	26,13	26,09	26,18	26,13	26,09	25,99	25,99
7	2	26,23	26,13	26,23	26,09	26,09	26,18	26,09	26,18	25,99	26,13
8	3	26,28	26,28	26,23	26,13	26,09	26,18	26,18	26,09	26,04	26,09
9	4	26,28	26,23	26,28	26,09	26,04	26,13	26,04	26,09	25,94	26,09
10	5	26,18	26,13	26,18	26,13	26,09	26,09	26,09	25,99	25,99	25,94
11	6	26,18	26,13	26,13	26,09	26,04	26,04	26,04	26,04	25,94	25,94
12	7	26,23	26,23	26,18	26,04	26,13	26,04	26,09	26,09	25,94	25,94
13	8	26,18	26,18	26,23	26,13	26,18	26,04	25,99	25,99	25,9	25,9
14	9	26,09	26,13	26,13	26,18	26,09	26,09	26,04	25,94	25,9	25,85
15	10	26,13	26,13	26,18	26,09	26,09	26,04	26,09	25,99	25,99	25,9
16	11	26,13	26,18	26,09	26,13	25,99	26,04	26,09	25,99	25,99	25,99
17	12	26,09	26,13	26,09	26,09	25,99	25,99	26,09	25,94	25,99	25,99
18	13	26,23	26,28	26,13	26,13	26,04	26,18	25,99	25,94	25,94	25,94
19	14	26,18	26,18	26,04	25,99	26,04	26,13	25,94	25,94	25,99	25,99
20	15	26,09	26,04	26,04	25,94	26,04	26,04	25,94	25,94	25,9	25,9
21	16	26,09	26,09	26,13	26,04	26,04	26,09	25,94	25,99	25,9	25,94
22	17	26,13	26,09	26,18	26,04	25,99	25,94	25,9	25,9	25,85	25,9
23	18	26,13	26,18	26,18	26,04	26,04	25,99	25,94	26,04	25,94	25,99

Figura 14: Fichero con valores de temperatura abierto desde Excel

Pero para este trabajo fue necesario eliminar las filas y columnas del fichero que correspondían al encabezado y enumeración de las filas y columnas, con el objetivo de luego importar dicho archivo en el software de Matlab, estrictamente la matriz de 240x320 de valores de temperatura para ser procesados, como se enseña en la figura 15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	26,13	26,13	26,18	26,13	26,09	26,18	26,13	26,09	25,99	25,99	25,99
2	26,23	26,13	26,23	26,09	26,09	26,18	26,09	26,18	25,99	26,13	25,99
3	26,28	26,28	26,23	26,13	26,09	26,18	26,18	26,09	26,04	26,09	25,99
4	26,28	26,23	26,28	26,09	26,04	26,13	26,04	26,09	25,94	26,09	25,94
5	26,18	26,13	26,18	26,13	26,09	26,09	26,09	25,99	25,99	25,94	25,94
6	26,18	26,13	26,13	26,09	26,04	26,04	26,04	26,04	25,94	25,94	26,04
7	26,23	26,23	26,18	26,04	26,13	26,04	26,09	26,09	25,94	25,94	26,04
8	26,18	26,18	26,23	26,13	26,18	26,04	25,99	25,99	25,9	25,9	26,13
9	26,09	26,13	26,13	26,18	26,09	26,09	26,04	25,94	25,9	25,85	25,94
10	26,13	26,13	26,18	26,09	26,09	26,04	26,09	25,99	25,99	25,9	25,99
11	26,13	26,18	26,09	26,13	25,99	26,04	26,09	25,99	25,99	25,99	26,04
12	26,09	26,13	26,09	26,09	25,99	25,99	26,09	25,94	25,99	25,99	26,04
13	26,23	26,28	26,13	26,13	26,04	26,18	25,99	25,94	25,94	25,94	25,85
14	26,18	26,18	26,04	25,99	26,04	26,13	25,94	25,94	25,99	25,99	25,9
15	26,09	26,04	26,04	25,94	26,04	26,04	25,94	25,94	25,9	25,9	25,85
16	26,09	26,09	26,13	26,04	26,04	26,09	25,94	25,99	25,9	25,94	26,04
17	26,13	26,09	26,18	26,04	25,99	25,94	25,9	25,9	25,85	25,9	25,85
18	26,13	26,18	26,18	26,04	26,04	25,99	25,94	26,04	25,94	25,99	25,99
19	26,13	26,04	26,13	25,99	25,99	26,04	25,99	25,99	25,85	25,94	25,9
20	26,13	26,18	26,23	25,99	25,99	25,99	26,04	26,04	25,94	25,94	25,9
21	26,09	26,13	26,23	26,09	25,99	26,04	25,99	25,94	25,94	25,9	25,9
22	26,13	26,18	26,13	25,94	25,94	26,04	26,04	25,99	25,9	25,94	25,85
23	26,13	26,09	26,13	26,09	26,09	26,09	26,09	25,85	25,75	25,9	25,94

Figura 15: Fichero valores de temperatura sin encabezado

Éstas imágenes tienen un consecutivo asignado automáticamente por el procesador térmico, no obstante es un número grande y poco práctico para manejar por lo cual luego fue necesario pensar en cambiar la notación de las imágenes, para su procesamiento en el software de Matlab y por ende a parte de quitar el encabezado de los ficheros se renombraron todos los ficheros, conservando la siguiente estructura en el nombre, inicial 'p' de **paciente**, un número que indica el número de encuesta según el orden cronológico en que fue aplicada, luego la letra 'i' de **imagen** y finalizando con un número consecutivo que va desde 1 hasta 11, que fue el total de imágenes adquiridas por paciente durante el proceso de termorregulación, dicha notación se muestra para mejor claridad en la imagen 16, con base en esa notación el máximo archivo que se puede encontrar es “p26i11” que indica el paciente 26 imagen número 11.

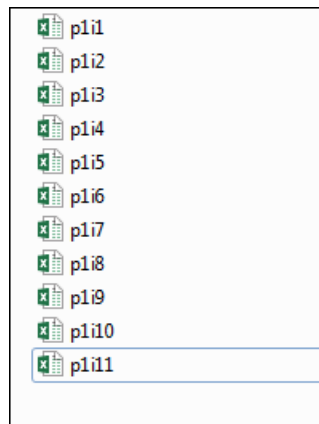


Figura 16: Notación asignada a las matrices de valores de temperatura

Luego se diseñó un algoritmo en Matlab, el cual se adjunta en el anexo descrito en la subsección 6.2, pero en este documento se explicará a grandes rasgos, cómo funciona.

Lo primero que hace el programa es crear un arreglo de 4 dimensiones para almacenar todas las matrices de temperatura de los sujetos a través de dos ciclos for anidados, obteniendo unas dimensiones de  $(240, 320, 11, 26)$ , las dos primeras componentes del arreglo son el tamaño de filas por columnas de las matrices, el número 11 indica la cantidad de imágenes asociadas a cada sujeto de estudio y el 26 el total de sujetos de estudio.

Después de tener cargadas todas las matrices de temperatura debido a que todos los cuellos de los sujetos de estudio tienen diferentes proporciones en cuanto al largo y ancho, fue necesario un ciclo for que permite seleccionar manualmente 3 puntos dentro de la imagen inicial del cuello de cada sujeto y con ello determinar el valor de la altura (largo) y al ancho de por persona como se muestra en la figura 17, esos valores que se guardan y posteriormente son usados dentro de 3 ciclos for anidados que permiten crear una máscara para cada sujeto de estudio de acuerdo a la altura y ancho que tiene la primera imagen adquirida, la máscara a cada píxel dentro de ese rango establecido le asigna el valor de 1.

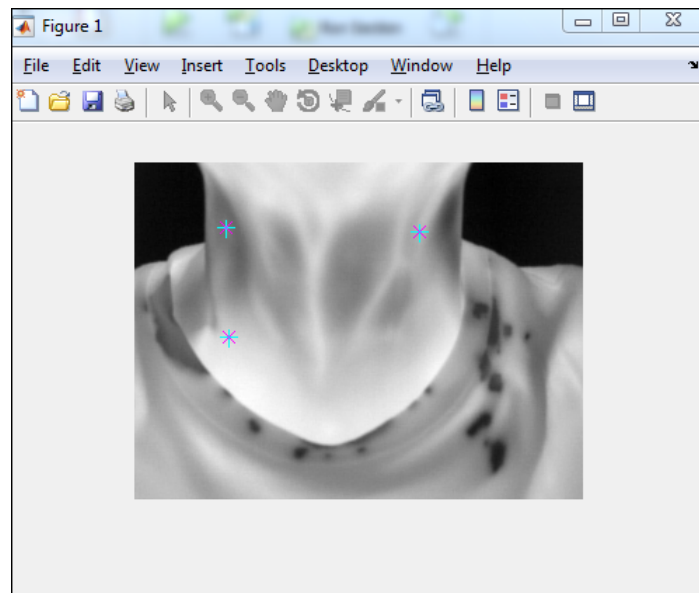


Figura 17: Selección manual de 3 puntos en el cuello

Posteriormente con dichas máscaras y conocido el tamaño de sus dimensiones para cada sujeto, se llevan estas variables a dos ciclos for anidados que realizan el filtrado del fondo y dejan sólo los valores de temperatura dentro del rango de la máscara, que

corresponde a la región de interés, es decir el cuello; adicional a esto; dentro de estos dos ciclos se obtiene la temperatura promedio y la temperatura máxima para cada una de las imágenes filtradas de todos los sujetos.

Los valores obtenidos de temperatura promedio y la temperatura máxima son exportados de manera automática desde Matlab a través de un ciclo for que crea 26 archivos en Excel (uno por paciente) y en cada uno escribe de manera vertical iniciando en la celda B2 cada uno de los 11 valores de temperatura promedio de las imágenes y de manera similar escribe en la celda C2 los valores de la temperatura máxima, como se puede observar en la imagen 18; donde cabe aclarar que los encabezados de las celdas A1 y B1 fueron agregados manualmente dado que a través de Matlab se dificultó ese proceso de imprimir variables de tipo **string** en celdas de Excel, puesto que para una palabra se gastaba tantas celdas en Excel como letras tuviera la misma; al no encontrar cómo solucionar esa situación y considerando que no era tanta la cantidad de archivos, junto con la idea de que es una mejora de tipo estética, se decidió copiar y pegar los encabezados manualmente en cada documento en Excel.

	A	B	C
1		<b>T. Promedio [°C]</b>	<b>T. Máxima [°C]</b>
2		32,88852694	34,76
3		33,50554398	35,28
4		33,68594171	35,28
5		34,08131208	35,5
6		34,20416141	35,5
7		34,40623316	35,59
8		34,59202546	35,72
9		34,64546296	35,63
10		34,73063657	35,76
11		34,88358165	35,67
12		34,98752221	35,76

Figura 18: Temperatura promedio y máxima sujeto 1

La última sección del código se encarga de realizar dos regresiones de mínimos cuadrados, una para las temperaturas promedio por sujeto de estudio y otra para las temperaturas máxima de cada uno, con el objetivo de obtener los gráficos por paciente de **número de imagen vs temperatura promedio** y **número de imagen vs temperatura máxima**, dichos gráficos son guardados de manera automática en formato .PNG (Portable Network Graphics), obteniendo en éste caso un total 52 gráficos (2 por cada uno de los 26 participantes). Un ejemplo del tipo de gráfico obtenido se puede ver a continuación en la imagen 19; el resto serán agregadas dentro del anexo descrito en la subsección 6.3.

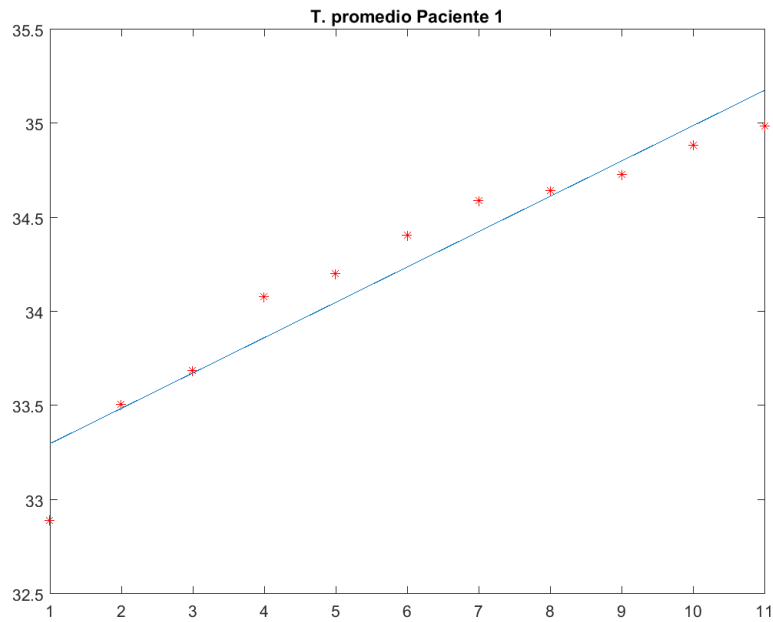


Figura 19: Regresión por mínimos cuadrados T promedio sujeto 1

Cabe mencionar que los gráficos fueron almacenados por Matlab automáticamente con un nombre que identifica de inmediato el tipo de temperatura medida y el número del sujeto al que pertenece para que sea más óptimo los procesos de revisión y seguimiento.

La funcionalidad del código descrita en palabras previamente, se puede expresar de un modo más visual a través de un esquema por bloques, como el que se presenta en la figura 20.

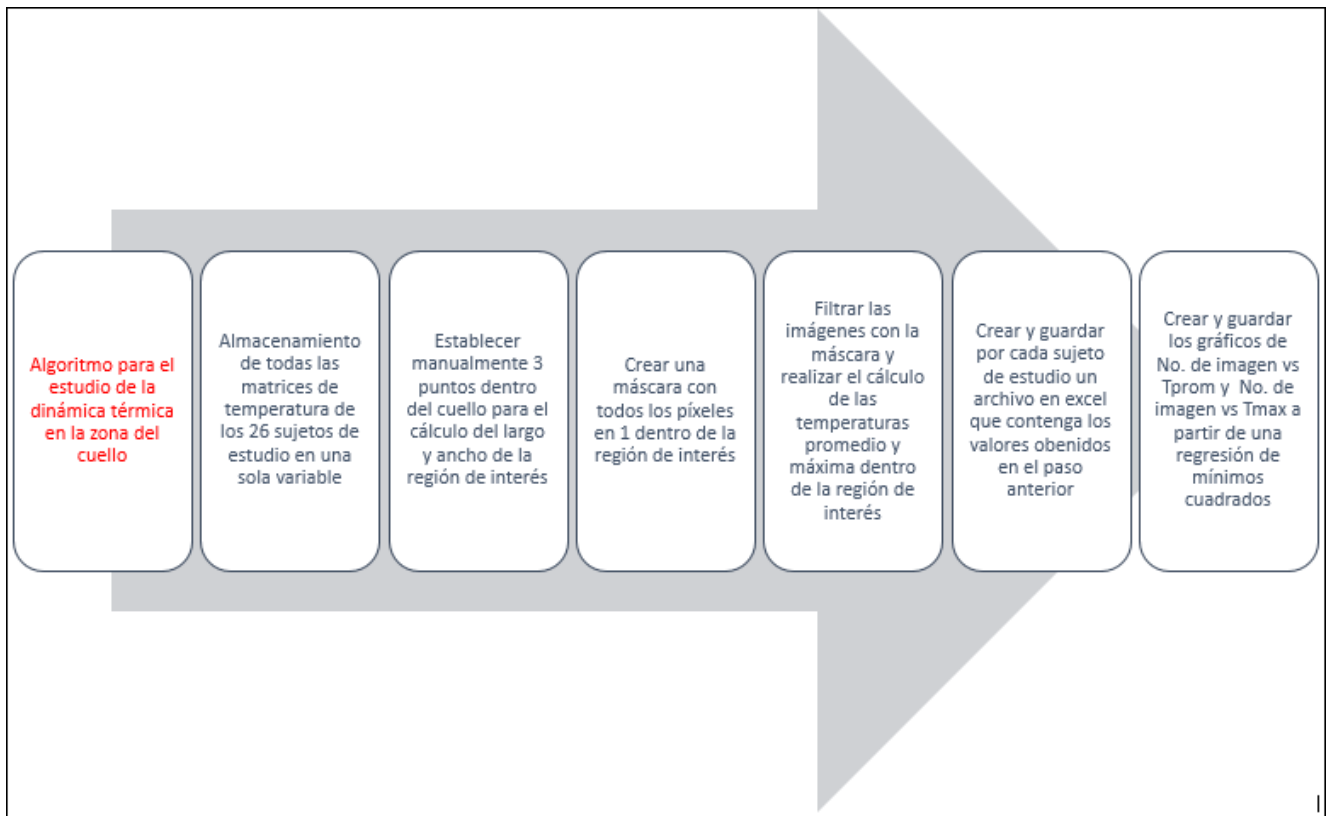


Figura 20: Esquema por bloques del algoritmo

## 4. Resultados y Discusión

Como resultados se obtuvieron los valores de la pendiente según la regresión de mínimos cuadrados para las temperaturas promedio y máxima para cada sujeto, cuyo significado físico se asocia a la velocidad con la cual se termorreguló cada persona, los resultados se agruparon en la tabla 3; no obstante es necesario aclarar que en el cuadro 3 los valores que están sobre una misma fila no necesariamente pertenecen al mismo sujeto de estudio puesto que al ordenar cada pendiente de menor a mayor de manera independiente se pierde la etiqueta de a quien pertenecen; pero permite observar con mayor facilidad el rango en el cual se termorregularon todas las personas.



0,421916278	0,168909091
<b>Pendiente T. Promedio de menor a mayor</b>	<b>Pendiente T. Máxima de menor a mayor</b>
0,171290974	0,030363636
0,187794335	0,039545455
0,201722563	0,059545455
0,210136761	0,061181818
0,216104662	0,077090909
0,243092242	0,078454545
0,248451052	0,082181818
0,270981796	0,083818182
0,278444315	0,100181818
0,280732434	0,103363636
0,319367838	0,109363636
0,351101065	0,117545455
0,352700265	0,119545455
0,388319309	0,128909091
0,388413032	0,134727273
0,403392723	0,136636364
0,410853838	0,14
0,418475403	0,151272727
0,426146452	0,175636364
0,439601038	0,179727273
0,479480957	0,192727273
0,497556785	0,243727273
0,499938581	0,270818182
0,515465825	0,288181818
0,53464993	0,399363636

Cuadro 3: Valores de la pendiente Temperatura Promedio y Temperatura Máxima

Los valores mínimo y máximo obtenidos de la pendiente de Temperatura Promedio (Tprom) fueron de 0,171290974 y 0,53464993 respectivamente, con un rango de 0,36; mientras que para la pendiente de Temperatura Máxima (Tmax) los valores mínimo y máximo fueron 0,030363636 y 0,399363636 respectivamente; con un rango de 0,37.

Las pendientes mostradas en el cuadro 3, son parte de los parámetros, con los cuales el algoritmo implementado en Matlab mencionado en el inciso 3.2.2 realiza las 52 gráficas obtenidas; Se debe recordar la ecuación punto pendiente de la recta  $y = mx + b$ ; para este caso se tienen dos ecuaciones,  $y1 = pend * No.Img + b$ , adicionalmente,  $y2 = pend2 * NoImg + b2$ ; donde *NoImg* corresponde al número de imagen y por ende es un vector que va de 1 hasta 11; *y1* e *y2* son los puntos de Tprom y Tmax en cada

una de las imágenes de los pacientes desde la 1 hasta la 11;  $b$  y  $b2$  son los intersectos con el eje  $y$  e  $y2$ ; finalmente,  $pend$  y  $pend2$  corresponden respectivamente a los valores de  $T_{prom}$  y  $T_{max}$  mostrados en el cuadro 3.

A parte de las variables estrictamente necesarias para realizar las gráficas, también se hizo el cálculo en Matlab de los coeficientes de correlación ( $R^2$ ), como un indicador cuantitativo de la tendencia lineal de los datos, obteniendo un valor promedio para los valores de  $T_{prom}$  de 0,8999 y para  $T_{max}$  de 0,8904; los 52 datos se pueden observar en el cuadro 4.

$R^2$ para $T_{prom}$	$R^2$ para $T_{max}$
0,892592671	0,88782572
0,893919695	0,889632641
0,901579204	0,892537212
0,910255065	0,89220638
0,894153546	0,888122528
0,901329953	0,895859237
0,896462724	0,889385076
0,891690201	0,887118619
0,899666668	0,885894457
0,895328958	0,88786049
0,906637996	0,890311914
0,893400461	0,888785863
0,898074138	0,889098963
0,894770713	0,890125386
0,897004683	0,886281184
0,902959703	0,89003438
0,904418065	0,901282344
0,906028676	0,894642231
0,906007948	0,888047147
0,902213222	0,890320251
0,899736641	0,896227676
0,9028318	0,892064144
0,89588512	0,887071743
0,902373654	0,891817045
0,901783214	0,88888863
0,907186931	0,891094851

Cuadro 4: Coeficientes de correlación  $R^2$

Del cuadro 4, se puede afirmar, que la termorregulación en los pacientes presuntamente sanos se puede modelar con un comportamiento lineal.

Se hizo una agrupación de la información registrada en las encuestas usando Excel, con lo cual se obtuvo una caracterización de las respuestas; dicho archivo será entregado

como el anexo descrito en la subsección 6.4, no obstante, en este documento se describen algunos de los aspectos más relevantes obtenidos

<b>Característica</b>	<b>Edad global [Años]</b>	<b>Temperatura Ambiente [<math>^{\circ}C</math>]</b>	<b>Humedad Relativa [%]</b>
Promedio	24	23,5	69,6
Mediana	22,5	23,4	70
Desviación Estándar	3,11	0,80	2,19

Cuadro 5: Compacto edad, temperatura y humedad relativa

El cuadro 5 muestra los valores promedio, mediana y desviación estándar de la edad de los 26 participantes; como también se registran las mismas características para las condiciones del entorno de medición como son la Temperatura Ambiente y la Humedad Relativa.

No.	Característica	1	2	3
1	¿Cuál es su peso? $[kg]$	82	63	60
2	¿Cuál es su estatura? $[cm]$	180	165	165
3	¿Cuál es el índice de masa corporal (IMC)? (Campo diligenciado por el investigador) $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$	25,3	23,1	22,0
4	¿Ha notado pérdida anormal o disminución del grosor del cabello?	NO	NO	NO
5	¿Ha tenido pérdida o ganancia esporádica de peso?	SÍ	NO	NO
6	¿Considera que tiene piel seca o deteriorada?	SÍ	NO	NO
7	¿Se ha sentido nervioso o con la frecuencia cardíaca alterada sin razón aparente?	NO	NO	SÍ
8	¿Ha sentido el cuello inflamado o presionado?	NO	NO	NO
9	¿Presenta dificultad para respirar?	NO	NO	NO
10	¿Ha presentado engrosamiento de la voz?	NO	NO	NO
11	¿Tiene problemas de visión?	NO	SÍ	NO
12	¿Sufre de estreñimiento?	NO	NO	SÍ
13	¿Sufre de depresión?	NO	NO	NO
14	¿Ha consumido alcohol en las últimas 24 horas?	NO	NO	NO
15	¿Ha fumado en las últimas 24 horas?	NO	NO	NO
16	¿Consume algún fármaco? Si así es, ¿Cuál o cuáles?	SÍ, Gemfibrozilo	NO	NO
17	¿Ha realizado alguna actividad física en las últimas 3 horas?	NO	NO	NO
18	¿Sufre alguna enfermedad? Si así es, ¿Cuál o cuáles?	SÍ, Triglicéridos	SÍ, Astigmatismo	NO
19	¿Sabe si tiene algún nudo en la Tiroides?	NO	NO	NO
20	¿Ha ingerido alimentos muy fríos o muy calientes en la última hora?	NO	NO	NO
21	¿Se encuentra durante los días del periodo dentro del ciclo menstrual?	N/A	N/A	NO
22	¿Sufre de ovarios poliquísticos?	N/A	N/A	NO
23	¿Tiene uñas débiles o quebradizas?	NO	NO	SÍ
24	¿Sabe si alguna persona de su núcleo familiar ha sufrido alguna patología en la Tiroides?	NO	NO	NO

Cuadro 6: Resumen encuestas

En el cuadro 6 se puede observar el resumen de las respuestas dadas por los primeros 3 sujetos de estudio, de modo similar el cuadro se extiende hasta el sujeto 26; en su mayoría las preguntas únicamente son variables dicotómicas, en otras como en la pregunta 16, 18 y 24, son de carácter dicotómico, pero cuando la respuesta es afirmativa, se complementa con una pregunta de respuesta abierta, la cual otorga una información adicional al respecto.

A partir de la característica número 3, del cuadro 6 se estableció una clasificación del nivel de peso de los participantes:

Resumen Nivel de peso	Cantidad sujetos
Bajo Peso	1
Normal	18
Sobrepeso	6
Obseso	1

Cuadro 7: Nivel de peso según el IMC

Se hizo la cuantificación de las respuestas, con lo cual se obtuvo los datos del cuadro

9

18. Enfermedad	10	16
No. Característica	NO	SÍ
4. Cabello frágil	21	5
5. Peso variable	24	2
6. Piel seca	20	6
7. Nervioso	24	2
8. Cuello inflamado	22	4
9. Dificultad respirar	25	1
10. Engrosamiento voz	25	1
11. Problemas de visión	13	13
12. Estreñimiento	20	6
13. Depresión	24	2
14. Alcohol	25	1
16. Medicamento Actual	19	7
20. Alimentos temperaturas extremas	24	2
21. Días del periodo	12	1
22. Ovarios poliquísticos	10	3
23. Uñas débiles	19	7
24. Núcleo familiar con Tiroides	24	2

Cuadro 9: Conteo respuestas

Durante el desarrollo de este proyecto se plantearon algunas preguntas, tales como:

1. ¿Es diferente el proceso de termorregulación entre hombres y mujeres?
2. ¿El nivel de peso basado en el IMC afecta el proceso de termorregulación?
3. ¿Las personas con patologías relacionadas a desórdenes en la Tiroides presentan diferencias en el proceso de termorregulación?

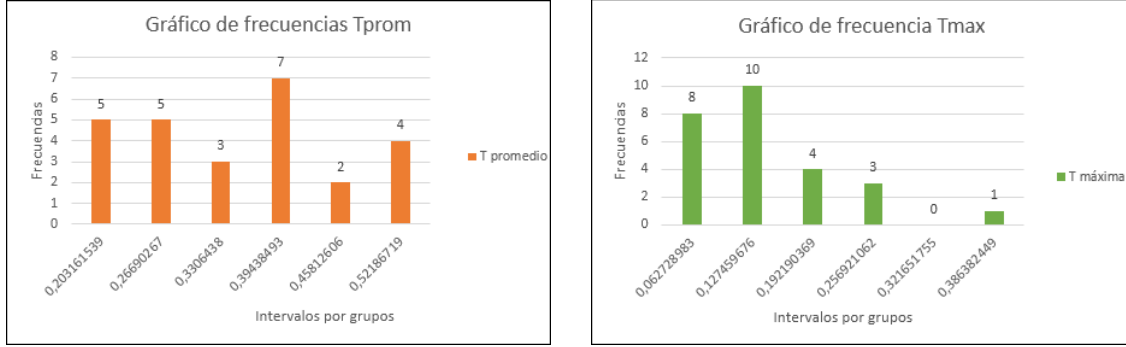
Basado en la caracterización de la encuesta y en los datos obtenidos por medio del algoritmo implementado en Matlab, de un modo analítico que se debiera complementar posteriormente con criterios estadísticos que permitan establecer diferencias estadísticamente significativas; se dio respuesta a los interrogantes, como se muestra a continuación.

En respuesta a la pregunta 1 se establece la idea de que **sí** hay diferencia entre hombres y mujeres durante el proceso de termorregulación, dado que a partir del análisis de las pendientes obtenidas y mostradas en el cuadro 3, porque luego de analizar las relacionadas con  $T_{prom}$  y  $T_{max}$ , agrupando los datos en una cantidad de 6 intervalos, establecidos a través de la Fórmula de Sturges, que sugiere:

$$K = 1 + 3,322 * \log(N)$$

Donde  $N$  es el número total de datos,  $K$  es el número de clases y  $\log$  es el logaritmo en base 10.

La distribución de las frecuencias agrupadas se pueden observar en la imagen 21



(a) Histograma intervalos de frecuencia Tprom (b) Histograma intervalos de frecuencia Tmax

Figura 21: Distribución de frecuencias por intervalos de Tprom y Tmax

Donde de los 5 sujetos encontrados en el intervalo inferior de la figura 21a, 4 son de género masculino y la restante es de sexo femenino, no obstante, revisando la encuesta se encontró con que tiene diagnosticado en el historial clínico **hipertiroidismo**, lo cual puede plantearse como un argumento que permite justificar la presencia de ese registro dentro del intervalo más bajo de velocidad de termorregulación. En el extremo superior de clase de la figura 21a, de los 4 participantes que están en dicho grupo, 3 son mujeres y el restante es un hombre.

Observando ahora el gráfico 21b, sumando la cantidad de sujetos en los cuatro intervalos superiores encontramos 8 en total, de los cuales sólo 1 es de género masculino y por ende las 7 restantes son de sexo femenino; lo cual indica que los 12 hombres que faltan se encuentran distribuidos entre el primer y segundo intervalo de frecuencias inferior, lo que representa una mayoría en la sección donde es más lento el proceso de termorregulación.

Con base en lo mencionado anteriormente se propone la afirmación de que las mujeres tienen un proceso de termorregulación más rápido en la zona del cuello que los hombres, dando respuesta al interrogante 1 en la página anterior.

Ahora para dar respuesta a la pregunta 2 en la página anterior, se establece la idea de que **no** hay diferencia en el proceso de termorregulación aunque los sujetos tengan diferentes niveles de peso, debido a que luego de la revisión de los sujetos que se encuentran en el intervalo superior de la figura 21a, que están 4 sujetos de estudio, sus niveles de peso son muy variados, se encuentra, un participante que tiene **bajo peso**, dos que tienen **peso normal**, y los dos restantes con **sobrepeso**. A continuación,

repasando las características del intervalo inferior de la misma figura 21a en la página anterior, de las 5 personas que están en ese grupo, 2 tienen **peso normal** y los otros 3 registran **sobrepeso**; lo cual no muestra una tendencia clara.

De modo similar pasa analizando los intervalos extremos de la figura 21b en la página anterior, en el cual tenemos que de 8 sujetos clasificados en el intervalo inferior, 4 tienen **peso normal** y los demás tienen **sobrepeso**, y finalmente en los tres intervalos superiores, que contienen 4 sujetos, hay uno que tiene **bajo peso**, y los tres restantes tienen **peso normal**. Considerando una observación adicional, de que hay un sujeto de los 26 estudiados que tiene nivel de peso en categoría **obeso** y éste tanto en la clasificación por pendiente de temperatura promedio como en la de temperatura máxima no se encuentra registrado en ninguno de los extremos.

Las razones anteriormente expuestas llevan a contestar al interrogante 2 en la página 38, que el nivel de peso **no** afecta el proceso de termorregulación en la zona del cuello.

En respuesta al interrogante 3 en la página 38, se plantea la idea de que **sí** hay diferencia entre los sujetos que tienen enfermedades de tiroides y los que no en el proceso de termorregulación. Luego de las observaciones hechas referente al intervalo inferior del grupo 21a en la página anterior, se encuentran dos personas que en la información de su encuesta tienen diagnosticado **hipertiroidismo**, al igual que también se encuentran en el intervalo inferior de la figura 21b en la página anterior y como hecho adicional revisando los **coeficientes de correlación**  $R^2$  uno de los dos sujetos mencionados tiene el menor valor en dicho coeficiente entre todos los relacionados para  $T_{prom}$  en el cuadro 4 en la página 34, aunque esto no indica que el proceso de termorregulación sea más lento, no obstante, sugiere contemplar la posibilidad de estudiar más a fondo si en pacientes con enfermedades de tiroides el coeficiente decrezca tanto en su magnitud de que el proceso de termorregulación no pueda ser considerado como lineal.

Por los motivos mencionados, se asevera que se detectó que el proceso de termorregulación en el cuello de pacientes con enfermedades relacionadas a la tiroides es más lento que en pacientes presuntamente sanos.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- Se diseñó un protocolo para la adquisición de imágenes termográficas del cuello, con especial interés en la base del cuello lugar donde se ubica la tiroides. En él se establecen los parámetros requeridos para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos.
- Se implementó un algoritmo en Matlab que permite la lectura automática de las imágenes, segmentar la región de interés a partir de la localización manual de 3 puntos para crear una máscara por cada sujeto de estudio, filtrado de las imágenes por participante de acuerdo a la máscara correspondiente, cálculo y exportación



a un archivo Excel de las temperatura promedio y temperatura máxima para las imágenes filtradas; y para finalizar la creación y almacenamiento automático en formato .png de los gráficos con la dinámica térmica a partir de una regresión de mínimos cuadrados para las temperaturas promedio y máxima, obteniendo unos coeficientes de correlación promedio de 0,8999 y 0,8905. para cada una respectivamente.

- Se agruparon, analizaron y relacionaron con las encuestas los datos y gráficas obtenidas con el algoritmo; logrando inferir 3 afirmaciones que responden a planteamientos realizados. El proceso de termorregulación en la zona del cuello es diferente en hombres y en mujeres, presentando éstas últimas una velocidad mayor de termorregulación tanto con la temperatura promedio como con la máxima. El nivel de peso de los sujetos no afecta el proceso de termorregulación, es similar su tendencia aunque se compare un sujeto con nivel de **bajo peso** con uno **obseso** o de peso **normal**. El proceso de termorregulación es más lento en personas que tienen diagnosticado una enfermedad de la tiroides comparado con la velocidad de los pacientes presuntamente sanos.
- Este estudio respecto al estado del arte consultado tiene la ventaja de que el algoritmo procesa directamente las matrices que contienen la distribución espacial de valores de temperatura, por ende, evita inducir errores como el desfase generado entre el lente infrarrojo, y el lente de luz visible, cuando se aplican las diferentes técnicas de procesamiento directamente a las imágenes en RGB para luego superponerlas con las imágenes termográficas. El método propuesto en este documento también se reduce el costo computacional y no requiere un procesamiento de imágenes tan robusto como el que se debe diseñar en caso de trabajar con imágenes construidas a partir de pseudo color y no directamente con los valores de temperaturas que están representando esas tonalidades.

## 5.2. Recomendaciones y trabajos futuros

Se sugiere que como complemento a este trabajo se pueden tratar de validar con pruebas basadas en criterios estadísticos las respuestas dadas a las hipótesis 1, 2 y 3.

Este trabajo se puede tomar como referencia para posteriormente realizar un estudio donde exista un grupo de control y una cantidad determinada de sujetos con enfermedades diagnosticadas de tiroides, con miras, a corroborar lo obtenido a través de un análisis con uso de aprendizaje de máquina y clasificadores.

Estandarizar un control sobre la temperatura a la cual debe estar el estímulo al momento de entrar en contacto con el sujeto de estudio y que se garantice ese valor antes de cada prueba, para poder establecer mayor homogeneidad de la excitación.

## 6. Listado de anexos

- 6.1. **Anexo 1.** Protocolo toma de imágenes termográficas y registro de medidas relacionadas.
- 6.2. **Anexo 2.** Algoritmo en Matlab y variables almacenadas.
- 6.3. **Anexo 3.** Gráficas obtenidas en Matlab con la regresión de mínimos cuadrados para temperatura promedio y temperatura máxima.
- 6.4. **Anexo 4.** Encuestas aplicadas y tabulación en Excel.

## Referencias

- [1] E. Orozco, J. Castro, L. Mena, M. Flores, and N. Mejias, “La termografía digital como herramienta para tamizaje de cáncer de mama: Estudio preeliminar dif-mazatlán, estado de sinaloa,” *Ciencias Naturales y Exactas Handbook T-II*, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/6n8BSy>
- [2] B. N. Rajole and V. J. Gond, “Review of diagnosis methods of thyroid disorders,” vol. 1, pp. 202–206, April 2017. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.utp.edu.co/document/8203671>
- [3] S. Shroff, S. Pise, P. Chalekar, and S. S. Panicker, “Thyroid disease diagnosis: A survey,” *2015 IEEE 9th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, pp. 1–6, Jan 2015. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.utp.edu.co/document/7282384>
- [4] M. Aweda, A. Adeyomoye, and G. Abe, “Thermographic analysis of thyroid diseases at the lagos university teaching hospital, nigeria,” *Pelagia Research Library*, 2012. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/db54/0f60d306ace64ee931c7b047cbebc5cd85.pdf>
- [5] E. Ring, “The historical development of temperature measurement in medicine,” *Infrared physics & technology*, vol. 49, no. 3, pp. 297–301, 2007. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449506000958>
- [6] B. Lahiri, J. Philip, B. Subramainam, and T. Jayakumar, “Medical applications of infrared thermography: A review,” *Infrared Physics & Technology*, vol. 55, no. 4, pp. 221,235, Jul. 2012. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449512000308>
- [7] A. Lekshmy and S. Sivanandam, “Diagnosis of thyroid disorder using infrared thermography,” *International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, vol. 1, pp. 37–41, 2017. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.utp.edu.co/document/8203718>

- [8] L. Goldman and A. Schafer, *Goldman-Cecil. Tratado de medicina interna*. Elsevier España, S.L.U, 2018, vol. 20, ch. 36, pp. 881,922. [Online]. Available: <https://www-clinicalkey-es.ezproxy.utp.edu.co/#!/content/book/3-s2.0-B9788491131328000366>
- [9] S. Melmed, K. Polonsky, P. Larsen, and H. Kronenberg, *Williams. Tratado de endocrinología*. Elsevier España, S.L.U, 2017, vol. 13, ch. 11, pp. 334,368. [Online]. Available: <https://www-clinicalkey-es.ezproxy.utp.edu.co/#!/content/book/3-s2.0-B978849113101400011X>
- [10] R. Hines and K. Marschall, *Stoelting's Anesthesia and Co-Existing Disease*. Elsevier, 2018, vol. 7, ch. 23, pp. 449,475. [Online]. Available: <https://www-clinicalkey-es.ezproxy.utp.edu.co/#!/content/book/3-s2.0-B9780323401371000235?scrollTo=%23h10001054>
- [11] V. Michael and M. Klauss-Peter, *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. Boschstr. 12, 69469 Weinheim Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/KwMukR>
- [12] S. Bagavathiappan, B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip, and T. Jayakumar, “Infrared thermography for condition monitoring - a review,” *Infrared Physics & Technology*, vol. 60, pp. 35,55, Mar. 2013. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/science/article/pii/S1350449513000327>
- [13] A. Helmy, M. Holdmann, and M. Rizkalla, “Application of thermography for non-invasive diagnosis of thyroid gland disease,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 55, no. 3, pp. 1168–1175, March 2008. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.utp.edu.co/document/4454041>
- [14] P. Mahajan and S. Madhe, “Hypo and hyperthyroid disorder detection from thermal images using bayesian classifier,” pp. 1–4, Aug 2014. [Online]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.utp.edu.co/document/7230721>
- [15] *Fluke Ti32, TiR32, Ti29, TiR29, Ti27, TiR27 Thermal Imagers Manual de uso*, Fluke Corporation, Jul. 2009. [Online]. Available: <https://goo.gl/5kYkGC>